

Farkas József

A GARAT- ÉS SZÁJÜREG ALAK- ÉS TÉRFOGATVÁLTOZÁSAINAK DINAMIKUS RADIOGRÁFIÁS, KOMPUTERES VIZSGÁLATA

1.1. A beszédhang az ember második jelzőrendszerének olyan terméke, amelyet nyelvi minta alapján a hangképző szervek tudatos együttmozgásával állít elő a nyelvi kommunikáció során, és hangrezgések formájában továbbít a receptorhoz, amelyen keresztül eljut a leképeződésig. Fogalmát BOLLA /Magyar Fonetikai Füzetek -- a továbbiakban MFF. -- 9 1981, 9-10./ így definiálja: "A beszédképzés fiziológiai folyamatában ismétlődő közel azonos kinetikai sztereotípiák, mozgáskomplexumok akusztikai korrelátumát nevezzük beszédhangnak. ... Önálló beszédhangnak tekintjük a hangsor azon szelvényét, amely szavak és szóalakok hangtestében a hangsorépítés adott nyelvre jellemző feltételei mellett materiálisan azonos vagy közel azonos formában ismétlődik." A hangos kommunikáció folyamatában a nyelvi tartalmak anyagi hordozójául szolgáló hangalak képzésekor eszünkbe sem jut, hogy az információ közlésének alapvető formája, a szóbeli közlés mennyi fiziológiai, fizikai és idegi folyamat bonyolult láncolatát működteti a kommunikációs partnerekben. Ezek felderítése, pontos leírása, a kutatás eredményeinek alkalmazása más tudományágakkal összevetve napjainkban ugyancsak nagy léptekkel halad.

1.2. A XVII. századtól J. MÜLLER, W. TRENDLENBURG, HELMHOLTZ és HERMANN munkássága nyomán az emberi beszéd, illetve az ez úton közölt információ anyagi hordozójának - a hangréseken kiáramló levegőimpulzusok által mozgásba hozott hangszalagok és a zörejes-turbulenciás effektusok által keltett akusztikai

képződményeknek- a szupraglottális üregek pillanatnyi állapotával módosított /modulált/ hangalakot tartjuk. A hangképzés /hangzás, érthetőség/ törvényszerűségei kutatásának igazán a technikai forradalom vívmányai adtak lendületet. Miután kemény viták árán - mások mellett M. JOOS, TARNÓCZY - a hangrés működésének törvényszerűségeit jórészt tisztázták, a figyelem az alaprezgéseket módosító és a tulajdonképpeni információs tartalom anyagi hordozóját végleg megformáló szupraglottális üregek felé fordult.

2. A dolgozat tárgya: a szó nagyságrendű hangtestekből szegmentált német beszédhangok női ejtésben. A német férfi ejtésből származó ugyanilyen nyelvi korpuszon elvégzett vizsgálat eredményeit BOLLA és VALACZKAI már közzétette /MFF. 16, 1986/. Ez a publikáció sok tekintetben vizsgálatunk mintájául szolgált. A jelen dolgozat több okból sem vállalkozhat az MFF 16. kötetében leírt komplex vizsgálatra, így tárgyát ahhoz képest racionálisan szűkíteni kellett. A lehetséges vizsgálatok közül ez a dolgozat a garat- és szájüreg alak- és térfogatváltozásainak a vizsgálatára vállalkozik a képzési idő függvényében.

A beszédképzés, a hangalak megformálása- ha a tudati szférától most eltekintünk -- a szupraglottális üregekben is lejátszódó folyamatok terméke. Az üregrendszeren átáramló alaprezgést és a különböző akadályok különböző leküzdési módjából eredő egyéb tipikus effektusokat -- zörejeket, turbulenciákat -- az üreg alak- és térfogatváltozása úgy modulálja, hogy ez akusztikailag meghatározza a beszédhangot. A hangalakok felépítése tehát akusztikai paraméterekkel is jellemezhető, ezeknek a paramétereknek a helyfüggése pedig nyilvánvaló. Itt persze a magánhangzók formánsainak kialakulására is gondolunk, nem csupán a mássalhangzók lokuszaira -- jellemző rezonanciahelyeire --, melyekről, pontosabban szerepükről a szakirodalomban vita bontkozott ki ugyan /összefoglalja VÉRTES O. ANDRÁS, 1982, 71-113, különösen 91-94./, a helytől függő paraméterek megállapításának a fontossága azonban nem képezte vita tárgyát. A dolgozat nem tárgyal szekvenciális összefüggéseket.

3. A munkának több célja is van.

3.1. A toldalékcso artikuláció közbeni alak- és térfogatváltozásainak a kutatására irányuló módszer továbbbépítése, lényegében új módszer kidolgozása.

3.2. A kidolgozott módszernek a szegmentált beszédhangok öt időarányos hangszületére /BOLLA MFF.8, 1981, 5-62, különösen 5; BOLLA MFF.9, 1981, különösen 16. lap, 5. pont; BOLLA-VALACZKAI MFF.16, 1986, különösen 14-19/ való alkalmazása, a toldalékcso alak- és térfogatváltozásainak a kiszámítása.

3.3. Az eljárás és az eredmények számítógépre vitele, és a kapcsolt monitor képernyőjén való megjelenítésre alkalmassá tétele.

3.4. a hangtan oktatásában alkalmazható program elkészítése.

4. A dolgozat alapjául egy tübingiai nő /egyetemi hallgató/ ejtéséből származó nyelvi korpusz szolgált.

A 23 éves Kerstin Schabel kiejtésében szegmentált német női beszédhangok és időtartamuk: a: 213 ms /Adem/, a 115 ms /Acker/, ɔ 94 ms /Ochse/, o 99 ms /opal/, o: 217 ms /Ofen/ ~ 108 ms /Mutter/. u 96 ms /Utopisek/, u: 167 ms /Uhr/, Y 86 ms /üppig/, y 65 ms /Hypothek/, y: 218 ms /Übel/, I 113 ms /im/, i 94 ms /Idee/, i: 217 ms /Bibel/, ε: 245 ms /Wägen/, ε 111 ms /Ebbe/, e: 282 ms /beben/, e 74 ms /Elefant/, ə 183 ms /bebe/ oe 98 ms /öffnen/ ø 93 ms /Üdem/, ø: 255 ms /böse/, Diftongusok: au 212 ms /Autó/, ai 317 ms /Ei/ - az adatközlő által a felvétel idején éppen túlartikulált hang ji 334 ms /Baume/.

Német kiejtés vizsgálatakor óhatatlanul felmerül a kérdés, hogy a kiválasztott adatközlő által képzett beszédhangok m i t és m e n n y i r e reprezentálnak. A kérdés elvi-elméleti tisztázása hosszú folyamat volt, az újabb keletű magyarországi szakirodalomban zömmel VALACZKAI LÁSZLÓ munkásságára utalhatunk /mindenekelőtt 1978, 323-330; kandidátusi értekezés 1985, 15-18; MFF. 16, 1986, 10-11/. Az adatközlő az NDK-ban kidolgozott, de más országokban, így az NSZk-ban is elfogadott /DUDEN 6, 1974 2./ és közzétett "Standardaussprache" mint kiejtési minta alapján tanulta a beszédképzést. A szakirodalmi utalásokból eredő konzekvenciák figyelembe vétele mellett általánosításokra lehet vállalkozni.

5.1. A felvételt az MTA Fonetika Osztályával

együttműködve Valaczkai László készítette 1982-ben a SOTE Radiológiai Klinikáján UV-11 TRIDIX 800 típusú röntgen kontrasztor alapkészülékkel, Siemens képrögzítővel. A hangok időtartama alapján a képzési idő 0, 25, 50, 75 és 100 %-ánál öt ábrát készített a szupraglottális üregek pillanatnyi állásáról. A szegmentálást és a kirajzolást az MTA műszereivel végezte.

5.2. Az eddigi kinoröntgenografikus vizsgálatok 22 ill.

32 mérő- és referenciapontos rendszer alapján /pl. BOLLA MFF. 7, 1981, 7-54/ különböző hangok hangszelei artikulációs helyzeteinek összehasonlítását végezték. Ez a vizsgálati módszer érdekében célszerűen e g y s z e r ű s í t i a folyamatot, annak csak egy vetületét teszi az elemzés tárgyává.

Kíséreljük meg ezt a síkbeli vetületet a térbe visszahelyezni. Az öt hangszeletről készült kinoröntgenogram mindegyike hordozza a reprodukáláshoz szükséges összes adatot. Ezen adatokból alkalmasan választott reprezentánsokkal egy-egy részletet vetíthetünk ki, és ha ezen részleteket alkalmasan választott tengelyek körül megforgatjuk, forgástesteket kapunk. A forgástestek - mivel reprezentáns adatokat hordoznak -, a rezonátorüreg egy-egy részletét, annak adatit már térben testesítik meg. A részletek térfogatainak összege a teljes rendszer térfogatát szolgálhatja minden egyes hangszeletnél, és ezzel egy térben lejátszódó folyamat térbeli vizsgálatára nyílna lehetőség.

A módszer továbblépés FANT /1968, 173-277, különösen a 211. lap/ három paraméteres módszeréhez képest, amely ugyancsak a tér vizsgálatának a kísérlete volt, a síkban történő vizsgálatok helyett.

6. Az elkészített rajz -- hangonkénti öt hangszelet -- összevetése során első közelítésben megállapíthatjuk, hogy a szupraglottális üreg lágy részei a képzés teljes időtartama alatt dinamikus mozgásban vannak.

Ha fiziológiai szempontból vizsgálunk egy szegmentált hang öt hangszeletéről készült ábrasort, a következő felosztást állapíthatjuk meg:

- ha meggondoljuk, hogy az információ anyagi hordozóját

megformálni kívánó szubjektum motorikus idegi vezérlése a betanult és begyakorolt alaphelyzetbe állítja a rezonátor alakját, az első hangszelet a megformálandó hang szempontjából: nyitó;

- a hang terjedési sebességét, az ingerület haladási sebességét, a motorikus válasz adott helyre érkezését és a végrehajtó izmok tehetetlenségét tekintve második hangszelet korrigáló,
- a harmadik hangszelet a domináns hangzó,
- a negyedik hangszelet a lazító,
- az ötödik hangszelet a lezáró.

A felvett 25 hang bármelyikének öt hangszeletét vizsgálat alá vethetjük a fent elsoroltak igazolására, alátámasztásul a rezonátorüregek koordináta-rendszerbe helyezett ábráinak adatait hasonlíthatjuk össze.

Az információ anyagi hordozója -- a képzett hangalak -- diszkrét fizikai jelenség. Nem vétünk tehát nagyot, ha az azt képző rezonátorüreg egészét, alkalmasan választott osztásokkal széttagoljuk, és hogy a valósághoz jobban közelítsünk, a részrendszert leíró adatokkal a folyamatosság kívánalmait közelítő határértéket képzünk. A probléma megoldására fontoljuk meg a következőket.

A beszédhang egy adott rezonátorüreg jelmegettesítő és jelelkülönítő produktuma - BOLLA /MFF. 7, 1961, 7-56/ szerint akár mint kinéma /kvázi-azonos mozgáskomplexum-sztereotípiá/, akár mint akuszéma /kvázi-azonos akusztikai rezgéskomplexum-sztereotípiá/, akár mint szonéma /hangérzeti komplexum/ - térben lejátszódó folyamat. A jelen eszközök és módszerek birtokában próbáljuk meg egyszerűsítő feltevésekkel és adataink extrapolálásával közelíteni a problémát, az egyedi, az egyszeri, a mindig változó formában ismétlődő jelenségek mögött felismerni és leírni az általánosat, a lényegit, a tipikusát, a rendszer működésére, funkcionálására jellemzőt.

Egyszerűsítő feltevéseink a következők:

1. a rezonátorüreg - a szupraglottális üregek - ha csak a magánhangzókat vizsgáljuk, amikor az uvula és a hátsógaratfal /pharynx/ zárt állásban van - a gégefedő porctól /epiglottis/ az utolsó akadályig, az ajkakig /labia/ összefüggő,

szakadás nélküli üreg, amelyet alkalmasan felvett síkokkal forgástestekre oszthatunk.

2. A hang terjedési sebességének a hőmérséklettől való függését figyelmen kívül hagyjuk, mivel információt nem hordoz, a jelenség miatt bekövetkező módosulás, bár hatása speciális körülmények között számottevő lehet, esetünkben nem általános.

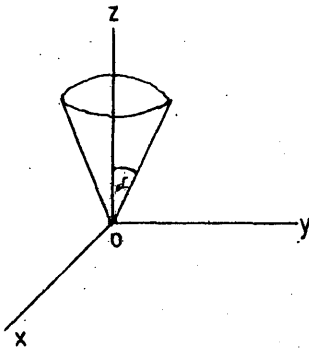
3. A rezonátorban létrejövő visszaverődések okozta kioltások vizsgálatától eltekintünk. A nem érzékelhető információ nem hasznosítható, a kioltások mértéke - az első közelítésben - minden magánhangzónál azonosnak vehető.

4. Az így tagolt rezonátorüreg részeinek mindegyike saját térfogatával módosítja a határán belépő akusztikai képződményt, mintegy kiemelve a rá jellemző felharmonikust, és a kilépő határon az anyagi hordozó egésze magán viseli ezt a módosított jelleget. A teljes térfogatrendszerben így végigvonuló alaprezgés az utolsó kilépő határon áthaladva hordozza az összes nyelvi információt.

A négy feltevés arra jó, hogy az így felvett térfogatokkal a hangképző szervek együttmozgását térben tudjuk követni, s mintegy csőmodellt alkotva a beszédszintetizátor modelljét készítsük el.

A kinoröntgenogram grafikus képét derékszögű koordinátarendszerbe helyezve a rendszer 140,120-as koordinátapont mint alappont köré 10 sugárirányú egyenest húzva 9 szeletre osztottuk. Az osztás alapvető szempontja az volt, hogy a szeletek határoló vonalai lehetőség szerint egyenesek - közel egyenesek legyenek. Az így megalkotott 9 szelet négy-négy koordinátaponttal megadott, egyelőre síkbeli képződmény. Mivel a kinoröntgenogram a kimerevített kép legmagasabb kontúrjáról készült, a függőleges komponens felezhetőségét (vö.: az egyszerűsítő feltevések első pontja) és a vízszintes komponens felezhetőségét tételezi fel, így azt mondhatjuk, hogy egy-egy szelet jól definiált ferde alapú és fedőlapú csonkakúp vetülete. térfogatának egzakt számítását matematikai megfontolások alapján a következő formával adhatjuk meg:

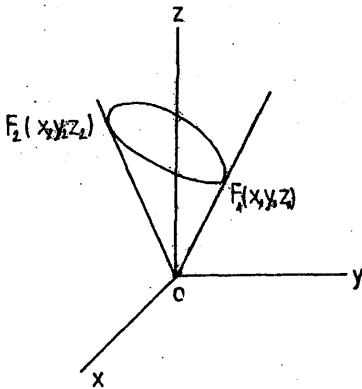
Ha a térben van egy egyenes körkúp az origóban lévő csúccsal:



$$x^2 + y^2 = c^2 z^2 \text{ egyenletű}$$

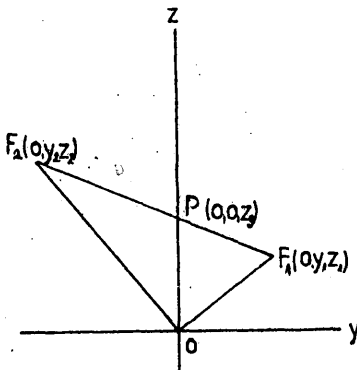
ahol a $c = \tan \alpha$ a kúp félnyílásszöge.

Ha ezt a kúpot egy tetszőleges síkkal elmetsszük:



egy speciális /ellipszis alapú/ csomkakúpot kapunk. Esetünkben az egyszerűsítő feltevések figyelembevételével elegendő ennek a forgástestnek a térfogatát kiszámítani, hiszen a rezonátorüreg egyes szeletei ilyen kúpkból kimetszhetők. A továbbiakban matematikai megfontolásokkal

vezetjük be az üreg térfogatát. A fenti kúpnak a fenti koordináta-rendszerben az y-z síkra eső vetülete:



az O, F_1, F_2 háromszög minden egyes pontjához tartozó

kúppalást távolságát

felfelé az $x = c^2 z^2 - y^2$,

lefelé az $x = -c^2 z^2 - y^2$

függvény adja meg. Célunk ezen

ferdén elmetezett csomkakúp

térfogatának kiszámítása. A

szimmetria miatt elegendő a

felső térfogat meghatározása:

$$V = 2 \iint_{OF_1F_2} \sqrt{c^2 z^2 - y^2} \, dy \, dz$$

Osszuk az integrálási tartományt két részre: az OF_1P és OPF_2 háromszögre: így

$$V = 2 \iint_{OF_1P} \sqrt{c^2 z^2 - y^2} \, dy \, dz + 2 \iint_{OPF_2} \sqrt{c^2 z^2 - y^2} \, dy \, dz$$

Az OPF_1 háromszög jellemzői: $0 \leq y \leq y_1$;

$$z = \frac{z_1}{y_1} y \leq z \leq \frac{z_1 - z_2}{y_1 - y_2} y + z_2$$

feltételekkel, ahol $z_2 = z_1 - \frac{z_1 - z_2}{y_1 - y_2} y_1$, ugyanis az F_1 és

F_2 pontokon átmenő egyenes egyenlete:

$$z - z_1 = \frac{z_2 - z_1}{y_2 - y_1} (y - y_1)$$

Az OPF_2 háromszög jellemezhető:

$$y_2 \leq y \leq 0$$

$$\frac{z_1}{y_1} y \leq z \leq \frac{z_1 - z_2}{y_1 - y_2} y + z_2$$

így

$$\iint \sqrt{c^2 z^2 - y^2} \, dy \, dz = V$$

Az integrál levezetése matematikai megfontolások alapján:

$$\iint \sqrt{c^2 z^2 - y^2} \, dy \, dz = \iint y \sqrt{\left(\frac{cz}{y}\right)^2 - 1} \, dy \, dz$$

legyen:

$$\frac{cz}{y} = u, \quad \frac{cdz}{y} = du, \quad dz = \frac{y}{c} du$$

ezekkel:

$$\iint \frac{y^2}{c} \sqrt{u^2-1} \, du \, dy =$$

legyen:

$$u = \operatorname{ch} x \quad x = \operatorname{arch} u \quad \text{és} \quad \operatorname{ch}^2 x - \operatorname{sh}^2 x = 1$$

$$du = \operatorname{ch} x \, dx \quad \text{és} \quad \operatorname{ch}^2 y - 1 = \operatorname{ch}^2 x \quad \text{miatt}$$

$$\iint \frac{y^2}{c} \operatorname{sh}^2 x \, dx \, dy = \int \frac{y^2}{c} \frac{\operatorname{sh} x \operatorname{ch} x - x}{2} \, dy =$$

integráljuk ki $\operatorname{sh}^2 x$ -et:

$$\int \operatorname{sh}^2 x \, dx = \operatorname{sh} x \operatorname{ch} x - \int \operatorname{ch} x \operatorname{ch} x \, dx = \operatorname{sh} x \operatorname{ch} x - \int (1 + \operatorname{sh}^2 x) \, dx = \operatorname{sh} x \operatorname{ch} x - x - \int \operatorname{sh}^2 x \, dx, \quad \text{és ezzel}$$

$$\sim = \int \frac{y^2}{2c} (u \sqrt{u^2-1} - \operatorname{arch} u) \, dy.$$

Írjuk vissza u-t:

$$\int \frac{y^2}{2c} \left(\frac{cz}{y} \sqrt{\left(\frac{cz}{y}\right)^2 - 1} - \operatorname{arch} \frac{cz}{y} \right) dy$$

közös nevezőre hozva, az egyszerűsítéseket elvégezve, és a két háromszögre bontva

$$\begin{aligned} & \int_0^y \frac{z}{2} \sqrt{(c^2 z^2 - y^2)} - \frac{y^2}{2c} \operatorname{arch} \frac{cz}{y} \Big|_{\frac{z_1}{y_1}}^{\frac{z_2}{y_2}} dy + \\ & + \int \frac{z}{2} \sqrt{(c^2 z^2 - y^2)} - \frac{y^2}{2c} \operatorname{arch} \frac{cz}{y} \Big|_{\frac{z_1}{y_1}}^{\frac{z_2}{y_2}} dy = v \end{aligned}$$

(A levezetés részlépéseiből néhányat elhagytam, ez azonban a megértést nem gátolja.)

A kapott eredményt számítógépes feldolgozásra alkalmassá téve a 25 hang 5-5 hangszeletéről készült ábráról leolvasott koordináta pontokkal a program minden egyes részüreg térfogatát számolja, majd azt a teljes üregre - matematikai terminológia szerint - felösszegezi. Az eredmény jó közelítéssel a valós térfogatot szolgáltatja, és a koordináta rendszerrel bármely hasonlóan felvett kinoröntgengramról nyert adatokkal használható az algoritmus. (Programlistája lététbe helyezve Dr. Valaczkai Lászlónál a JATE Bölcsészettudományi Kara Nyelvi Laboratóriumában.)

A női folyamatos ejtésből szegmentált német beszédhangok kinoröntgenogramjairól vett adatokkal az alábbi megállapításokat tettük.

A beszédhang kialakulása egyszerre fizikai, anatómiai-fiziológiai és biológiai vonzatú.

F i z i k a i vonzata nyilvánvaló: a nyelvi kommunikáció valamely anyagi hordozót, jelen esetben egy légoszlopot ruház fel információs tartalommal. A művelet fizikai tartalma már tisztázott. A hangtérben, amely a térnek hanghullámokkal betöltött része, az anyagi hordozó részecskéi egyensúlyi helyzetük környezetében rezgőmozgást végeznek, nyomás-, sűrűség- és hőmérséklet-ingadozások lépnek fel, és terjednek hullámszerűen tova. A rezonátorüreg kilenc térfogatszeletének mindegyike rezonancia folytán kiemeli a hangszalag rezgésének megfelelő hang felharmónikusai közül azokat, amelyeknek frekvenciái az üreg saját frekvenciáinak közelébe esnek. Ezek a formánsok teljesen függetlenek a hang magasságától, intenzitásától - a suttogó beszédet is (kellő távolságból) jól érthetjük, ám ha a normálistól lényegesen eltérő szögsebességgel járatott hanglemez magánhangzóit figyeljük, azok jellege megváltozik - az alaphang frekvenciája ugyanaz marad, de a rezonátor, jelen esetben hangszóró, egészen más felharmónikusokat erősít. Ezzel az egyszerűsítő feltevés negyedik pontja már nem egyszerűsítő feltevés, hanem tény.

Mivel a 9 térfogatszelet a belépő határán átjutó alaphangnak csak a saját térfogatának megfelelő frekvenciatartományába eső felharmónikusokat rezonáltatja, az

összes többi akadálytalanul átengedi, a kilépő határig kioltás nem lép fel. Az egyszerűsítő feltétel harmadik pontja szükségtelenné válik.

A hang terjedési sebességének hőmérsékletfüggését a $c = c_0 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$ formula írja le. az ember szupraglottális üregeinek normális hőmérséklete 37,5--37,8 C között mozog. A tüdőből kiáramló levegő hőmérséklete 1--3 tizedfokkal alacsonyabb. Folyamatos beszéd közben a rezonátorüregen keresztül áramló hideg levegő az üreg hőmérsékletét 1--3 tizedfokkal csökkenti, így a képzett hang formánisa a hőmérséklettől függetlenné válik. /vö.: 2. egyszerűsítő feltevés./

Integrálási formulánk határainak megválasztásánál a 9 térfogatrész 4-4 koordinátája volt mérvadó. A viszonyítási pont a 25 hang 5 hangszeleténél egy rögzített pont volt, melyet a szupraglottális üregek kemény - tehát állandó - részei által jól definiált támponthez kötöttünk. A felső fogsor éle és a kemény szájpad hármely más mozgó szervhez vagy részlethez viszonyítva statikus. A kinoröntgenogram kontúrjai mint határolópalástok olyan testet határoznak meg, melyek sík vetületei trapéz formáznak. Ha egy trapézt kiragadunk, és két oldalát egymáshoz közelítjük - dőlésszögük megtartásával -, általános háromszöget kapunk vetületként. Ha meggondoljuk, hogy a szupraglottális üregeknek az uvula és pharynx zárt állása mellett felső régiói (lágyszájpad, keményszájpad) a funkcionális anatómia szerint jó közelítéssel egy bizonyos köríven helyezkednek el, a beszélő nyelve pedig egyetlen pontsört reprezentálva a forgástestnek görbévé zsugorodott alsó palástja. A fent említett módon meghatározott háromszögvetület egy forgástest vetülete. Belátható, hogy elegendően sűrű beosztással ez a forgástest meghatározható a síkbeli kinoröntgenogramról, tehát a róla felvett adatok alapján az integrálformulával a térfogat tetszőlegesen kicsinnyé tett hibával számolható. Ezzel egyszerűsítő feltevéseink első pontja is szükségtelenné vált.

A dolgozatban 9 résztérfogatra osztottuk a rezonátor teljes térfogatát. Véleményünk szerint az osztás első közelítésben elegendő, nem követünk adattorzító hibát, a modell jól közelíti a valóságot. A vizsgálódás során egyébként sem az egzakt térfogatra, hanem a térfogatok megváltozására van szükség.

Az anatómiai-fiziológiai vonzat problémája a hangszetelek elnevezésének indoklása miatt oldandó fel. Egy szegmentált hang a képzés teljes időtartama alatt a jelen gyakorlat szerint 5 jól elkülöníthető hangszetre osztható: a képzés 0, 25, 50, 75, 100 %-ánál. Az első hangszetet a képzési idő 0 %-ánál - a n y i t ó - hangszetet. A kommunikáló szubjektum agykérgi folyamataiban - melyek időfüggését kimutatni nem tudjuk - megfogalmazódott a közölni kívánt információ, a végrehajtó szervek megkapták a végrehajtáshoz szükséges utasításokat, a folyamat megindul. A megfelelő izmok beállítják a rezonátorüreg megfelelő alakját, elindul az alaphang rezgése: nyitó képzés. A hang terjedési sebességét, a vezetés gyorsaságát figyelembe véve a nyitó hang tehát $3,8 \cdot 10^{-5}$ sec-nál rövidebb idő alatt tudatosul. Tegyük fel, hogy ez a közlendő információ szempontjából pontos beállítás. Azonban az izmok működtetése vegyi folyamat, melynek sebessége nagyságrenddel kisebb az érzékelésénél, továbbá tehetetlenségüknél fogva a pontos mértéktől kisebb-nagyobb értékkel eltérnek.

A szonogramokon jól látható időfüggő frekvenciakúszások a második hangszetet korrigáló jellegét támasztják alá. Ez a legrövidebben képzett /oe/ 65 ms hangszetenként 13 ms-os intervallumban is bőven belefér. A térfogatváltozások tükrében vizsgálva hasonló eltérés tapasztalható. Az első hangszetettől a második eltér, a harmadik az elsőhöz kissé visszaigazodik.

A harmadik hangszetet kúszása csökken, ami feltehetően a küldött motorikus parancsok mértékeinek jelentős esésével magyarázható - közel pontos hangzás, rövidebb korrigáló mozgásút, kevesebb túlfutás; a hang hordozza a kívánt információtartalmat: domináló hangszetet.

A kérgi folyamat már ismeri a következő lépést - egy következő hang vagy lezárás - a képzett hang tehát új információt nem igényel. A képzéshez szükséges alakra tovább nincs szükség, a térfogatot kifesztítő izmok ellazulhatnak, indulhat az ehhez szükséges vegyi folyamat: lazító hangszetet.

Az 5. hangszetet - attól függően, hogy követi-e egy másik hang (= előkészítő), vagy lezárja az információsort (= záró) felkészülnek az üreget kifesztítő izmok a hanghullámok részleges

vagy teljes kioltására, ami a gégefedőporc feletti rész drasztikus térfogatcsökkenését idézi elő az utolsó hangszelet utolsó fázisában. Ezzel már - magánhangzók szempontjából - a többnyire őket követő mássalhangzók képzésének térfogatviszonyaira utalunk.

E dolgozat a beszédhangok képzésének biológiai vonatásával nem foglalkozik, bár nem érdektelen a szervi elváltozások okozta rezonátorüregek térfogatviszonyainak, vagy a siketek monoton, "szín" nélküli hangképzésének vizsgálata sem.

(A dolgozatban bevezetett módszerrel számított térfogatváltozások adatai megtalálhatók Dr. Valaczkai László a JATE Bölcsészettudományi Karának Nyelvi Laboratóriumában.)

A hangtan oktatásában a módszerhez szervesen kapcsolódó program alkalmazható, mely bemutatja egy képzett hang 5 hangszeletének kinöröntgenogram-mását, ill. a hangképzés során fellépő térfogatváltozások alakját, mértékét. Lehetőséget látunk még a siketek beszédtanítására is. A dolgozat továbbfejlesztése az elmondottak alapján több irányban is lehetséges.

Felhasznált irodalom

- Bakó E.: A magyar magánhangzórendszer fiziológiai vizsgálatához. Nyk.LI, 374-401.
- Balassa J.: A magyar hangok képzése. Nyk. XXI. 130-140.
- Balassa J.: Magyar fonetika. Budapest, 1904. 166.l.
- Bolla K.: A magyar magánhangzók akusztikai analízise és szintézise. In: Magyar Fonetikai Füzetek /a továbbiakban MFF./ 1, Budapest, 1978. 53-67.
- Bolla K.: A magyar beszédhangok képzési konfigurációinak meghatározása palato- és lingvografikus kísérletekkel. MFF. 2, Budapest, 1978. 51-65.
- Bolla K.: Az orosz magánhangzók analízise és szintézise. MFF. 4, Budapest, 1979. 33-79.
- Bolla K.: Magyar hangalbum. MFF. 6, Budapest, 1980.
- Bolla K.: A magyar hosszú mássalhangzók képzése. /Kinoröntgenografikus vizsgálat számítógéppel./ MFF. 7, Budapest, 1981. 7-55.
- Bolla K.: A magyar magánhangzók és rövid mássalhangzók képzési sajátosságainak dinamikus kinoröntgenográfiai elemzése. MFF. 8, Budapest, 1981. 5-62.
- Bolla K.: Az amerikai angol beszédhangok atlasza. MFF. 9, Budapest, 1981.
- Bolla K.: A conspectus of Russian speech sounds. Budapest, 1981.
- Bolla K.: Orosz hangalbum. MFF. 11, Budapest, 1982.
- Bolla K.: A magyar beszéd akusztikai szerkezetének analízise és szintézise. Kutatástörténeti áttekintés. MFF. 10, Budapest, 1982. 6-20.

- Bolla K.: Magyar hangalbum. In: Fejezetek a magyar leíró hangtanból. Szerk. Bolla Kálmán. Budapest, 1982, 165-173+47 tábla.
- Bolla K. - Földi E.: A lengyel beszédhangok képzési és akusztikus sajátosságairól. MFF. 7, Budapest, 1981. 91-139.
- Bolla K. - Földi E.: A lengyel beszédhangok palato- és lingvografikus vizsgálata. MFF. 7, Budapest, 140-155.
- Bolla K.: A magyar magánhangzók és rövid mássalhangzók képzési sajátosságainak dinamikus kinoröntgenografiai elemzése. In: MFF: 8, 1981. 5-62.
- Bolla K. - Valaczkai L.: Német beszédhangok atlasza. A beszédhangok képzési és hangzási sajátosságai. MFF: 16. Budapest, 1986.
- Csüry B.: Szamosháti palatogrammok. NyK.L., Budapest, 1936. 64-70.
- Delattre P.: Comparing the phonetic features of English, German, Spanish and French. Heidelberg, 1965.
- Der grosse duden. Bd. 6. Aussprachewörterbuch. Wörterbuch der deutschen Standardausssprache. 2. völlig neu bearb. und erw. Auflage von Max Mangold und der dudenredaktion. Mannheim /Wien/ Zürich, 1974.
- Dvoncová, J. - Jenca, G. - Král, A.: Atlas slovenskyh hlások. Bratislava, 1969.
- Dieth, E.: Vademecum der Phonetik. Bern, 1950.
- Essen, O. von: Allgemeine und angewandte Phonetik. 4. Veränderte Auflage. Berlin, 1966.
- Fant, G.: Analysis and synthesis of speech processes. In: Manual of Phonetics. Edited by B.Malmberg. Amsterdam, 1968. 173-277.
- Fant, G.: Acoustic Theory of Speech Production, 's Gravenhage, 1960.
- Fónagy I.: A beszéd dinamikus leírásának elveiről. NyK. LXVI, 315-330.

- Fónagy I. - Szende T.: Zárhangok, réshangok, affrikáták hangszínképzése. NyK. LXXI, 281-344.
- Gombocz Z.: Magyar palatogrammok. NyK. XXXVIII, 193-204.
- Hegedűs L.: Röntgenfelvételek a száj- és garatüreg változásairól magánhangzók képzése közben. NyK. L, 111-117.
- Kassai I.: Akusztikai alapfogalmak. In: Fejezetek a magyar leíró hangtanból. Budapest, 1982. 53-66.
- Kiss G.: A dinamikus röntgenográfiai vizsgálat számítógépes programja. MFF. 7. Budapest, 1981. 56-58.
- Ladefoged, P.: Elements of acoustic Phonetics. Edinburgh and London, 1962.
- Lindner, G.: Der Sprechbewegungsablauf. Eine phonetische Studie des Deutschen. Berlin, 1975.
- Magdics K.: A magyar beszédhangok akusztikai szerkezete. Budapest, 1965.
- Malmberg, B.: Phonetics. New York, 1963.
- Molnár J.: A magyar beszédhangok atlasza. Budapest, 1970.
- Olaszy G.: a magyar mássalhangzók és mássalhangzó-magánhangzó-kapcsolódások akusztikai szerkezetének analízise és szintézise. MFF. 10. Budapest, 1982, 46-83.
- Olaszy G.: A magyar beszéd leggyakoribb hangsorépítő elemeinek szerkezete és szintézise. A számítógépes beszédelőállítás néhány kérdése. In: Ny.Ért. 121.sz. Bp., Akadémiai Kiadó 1985.
- Scheier, M.: Die Bedeutung des Röntgenverfahrens für die Physiologie der Sprache und Stimme. Berlin, 1909.
- Sovijarvi, A.: A nyelv artikulációs mozgásáról a röntgenfilmek fényében, MNy. LXIII, 1-5.
- Strenger, F.: Radiographic, palatographic and labiographic methods in phonetics. In: Manual of Phonetics. Editor: Malmberg, B. Amsterdam, 1958. 334-364.
- Szende T.: A beszéd folyamat alaptényezői. Budapest, 1976.

- Tarnóczy T.: A magyar magánhangzók akusztikai szerkezete. Budapest, 1941.
- Tarnóczy T.: A hangrészmozgás néhány tulajdonságáról. MFF. 1. Budapest, 1978, 9-17.
- Tarnóczy T.: Zenei akusztika. Budapest, 1982.
- Valaczkai L.: Vergleich der Realisierung ungarischer und deutscher e'-Laute. Vorträge der Speech-Symposion Szeged, Budapest, 1971. 289-290.
- Valaczkai L.: Röntgenbilder zur Artikulation im Deutschen und Ungarischen. In: Wiss. Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle /Saale/, 1973/3/. 200-205.
- Valaczkai L.: Palatogramme, Labiogramme, Sonogramme und neue Röntgenbilder zur Artikulation im Deutschen und im Ungarischen. In: Wiss. Beiträge der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Halle /Saale/, 1976/4. 230-237.
- Valaczkai L.: Über deutsche Aussprachenormen, Realisierungsvarianten und Gemässigte Hochlautung als Leitbilder für die Sprechkommunikation und für den Ausspracheunterricht. In: Budapester Beiträge zur Germanistik. Festschrift für Prof. Dr. sc. Karl Mollay. Herausgegeben von Antal Mádl in Zusammenarbeit mit János Juhász und Zsuzsa Széll. Budapest, 1978. 323-330.
- Vértes O.A.: A magyar beszédhangok akusztikai elemzésének kérdése. In: Fejezetek a magyar leíró hangtanból. Szerk. Bolla Kálmán. Budapest, 1982. 71-113.
- Vértes O.A.: Az artikuláció akusztikus vetülete. In: Fejezetek a magyar leíró hangtanból. Szerk. Bolla Kálmán. Budapest, 1982. 155-164.

